

Медико-технические подходы к энергетической хирургии катаракты: современное состояние вопроса

Б.М. Азнабаев^{1,2}Т.И. Дибаяв^{1,2}Р.Г. Мухаметов^{1,2}Т.Р. Мухамадеев^{1,2}Г.М. Идрисова^{1,2}, А.С. Вафиев^{1,2}, Т.Н. Исмагилов^{1,2}¹ ФГБОУ «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Ленина, 3, Уфа, 450008, Российская Федерация² ЗАО «Оптимедсервис»
ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2022;19(2):280–285

Баланс между эффективностью разрушения хрусталика и безопасностью этого процесса для внутриглазных структур является важнейшим аспектом при поиске альтернативных энергетических подходов в хирургии катаракты. В статье приводится обзор литературы, обобщающий современные медино-технические решения, которые направлены на разработку новых и эффективных методов фаноземulsionификации катаракты. Одной из основных составляющих хирургии катаракты является баланс между эффективностью ультразвукового разрушения хрусталика и безопасностью этого процесса для внутриглазных структур. Большинство имеющихся технических решений, призванных заменить ультразвук, пока не позволяют осуществить это в полной мере, так как обладают недостаточной разрушающей способностью или являются технологически сложными и дорогостоящими, что затрудняет их массовое внедрение в широкую практику. В связи с этим актуальным является поиск альтернативных энергетических подходов, направленных на повышение эффективности разрушения хрусталика без усиления негативных эффектов, связанных с увеличением дозы ультразвука.

Ключевые слова: ультразвуковая фаноземulsionификация, катаракта**Для цитирования:** Азнабаев Б.М., Дибаяв Т.И., Мухаметов Р.Г., Мухамадеев Т.Р., Идрисова Г.М., Вафиев А.С., Исмагилов Т.Н. Медино-технические подходы к энергетической хирургии катаракты: современное состояние вопроса. *Офтальмология*. 2022; 19(2):280–285. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-280-285>**Прозрачность финансовой деятельности:** Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах**Конфликт интересов отсутствует**

Medical and Technical Approaches to Cataract Energy Surgery: Current Status of the Issue

B.M. Aznabaev^{1,2}, T.I. Dibaev^{1,2}, R.G. Mukhametov^{1,2}, T.R. Mukhamadeev^{1,2}, G.M. Idrisova^{1,2}, A.S. Vafiev^{1,2}, T.N. Ismagilov^{1,2}

¹Bashkir State Medical University
Lenina str., 3, Ufa, 450008, Russian Federation

²"Optimedservis", CJSC
50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russian Federation

ABSTRACT

Ophthalmology in Russia. 2022;19(2):280-285

The balance between the efficiency of lens' destruction and the safety of this process for intraocular structures is the most important aspect in the search for alternative energy approaches in cataract surgery. The article provides a literature review summarizing modern medical and technical solutions aimed at developing new and effective methods of cataract phacoemulsification. One of the main components of cataract surgery is the balance between the effectiveness of ultrasound destruction of the lens and the safety of this process for intraocular structures. Most of the available technical solutions designed to replace ultrasound do not yet allow this to be fully implemented, since they have insufficient destructive power or are technologically complex and expensive, which makes it difficult for their mass introduction into widespread practice. In this regard, it is urgent to search for alternative energy approaches aimed at increasing the efficiency of destruction without increasing the negative effects associated with an increase in ultrasound dose.

Keywords: ultrasonic phacoemulsification, cataract

For citation: Aznabaev B.M., Dibaev T.I., Mukhametov R.G., Mukhamadeev T.R., Idrisova G.M., Vafiev A.S., Ismagilov T.N. Medical and Technical Approaches to Cataract Energy Surgery: Current Status of the Issue. *Ophthalmology in Russia*. 2022;19(2):280-285. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-2-280-285>

Financial Disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

There is no conflict of interests

Катаракта характеризуется частичным или полным помутнением хрусталика и является причиной обратной потери зрения у каждого шестого человека старше 40 лет и в подавляющем большинстве случаев — у людей старше 80 лет [1]. Удаление катаракты с имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ) является единственным способом лечения этого заболевания [2]. В России частота развития катаракты равна 1715,4 на 100 тыс. населения¹.

Во всем мире выполняется порядка 10 млн операций, связанных с устранением катаракты, в России — 542 000 подобных хирургических вмешательств, и потребность к увеличению их числа сохраняется [3].

Современные методики удаления катаракты подразумевают разрушение и удаление хрусталиковых масс через малый самогерметизирующий разрез. При этом достигается относительная безопасность вмешательства, быстрое восстановление зрительных функций и реабилитация пациента. Наиболее эффективным и безопасным методом лечения катаракты во всем мире считается факоэмульсификация на основе ультразвуковых колебаний [2, 4, 5].

Риск операционной травмы эндотелия по-прежнему является одним из негативных факторов, на уменьшение влияния которого направлено медико-техническое усовершенствование микрохирургических систем. Эндотелий обладает низкой способностью к регенерации, замещение клеточных элементов происходит за счет гипертрофии и миграции [6, 7]. Потеря

эндотелиальных клеток при ультразвуковой факоэмульсификации происходит при продолжительном воздействии ультразвука на интраокулярные структуры [7–9], при повреждении фрагментами хрусталика [10], при воздействии ирригационного потока [11], за счет образования свободных радикалов [12]. В среднем после выполнения факоэмульсификации потеря эндотелиоцитов составляет 8,5–11,7% в центральной зоне роговицы, максимальное снижение количества эндотелиальных клеток происходит в области тоннельного разреза². Термическое поражение тоннельного разреза также является серьезным осложнением ультразвуковой факоэмульсификации. Помимо необратимого повреждения эндотелия, ожог ткани в области тоннельного разреза влечет за собой негерметичность передней камеры глаза, снижение скорости репарации, и в итоге это может привести к появлению послеоперационного астигматизма и неудовлетворенности качеством зрения [13]. Высокие значения мощности ультразвука, применяемые при факоэмульсификации плотной катаракты, затруднение ирригации при несоответствии размеров рабочего инструмента и тоннельного разреза, длительная окклюзия факоиглы ведут к увеличению риска развития термических поражений роговицы [14].

С целью оптимизации использования ультразвуковой энергии разработаны различные медико-технические усовершенствования. Так, были внедрены новые режимы работы ультразвука (вспышечные режимы,

¹ Заболеваемость всего населения России в 2017 году, часть 1. Статистические материалы. Поликарпов А.В., Александрова Г.А. и др. М., 2018. С. 47.

² Балашевич Л.И., Шушаев С.В., Березин С.В., Домошей О.М. Изменение плотности эндотелиальных клеток после факоэмульсификации катаракты в различных зонах роговицы. Мат-лы Всерос. научно-практ. конф. «Федоровские чтения 2012»: сб. науч. тр. М., 2012. С. 43.

гиперпульс), разработан непродольный ультразвук [15–18]. Отечественными исследователями была предложена факоэмульсификация на основе трехмерных ультразвуковых колебаний, что позволило улучшить удерживаемость фрагментов хрусталика, а также снизить степень нагрева тоннельного разреза [19]. Для облегчения эвакуации плотных кортикальных масс предложена система для аспирации кортикальных масс с возможностью подачи дозированной ультразвуковой энергии низкой мощности [20]. Изобретены различные интракапсулярные техники дробления ядра, петли из микрофиламента для интракапсулярного разреза ядра (устройство miLOOP) [21–24].

Оптимизация использования ультразвуковой энергии во время факоэмульсификации также возможна за счет преобразования гидродинамической составляющей офтальмохирургической системы. Примером этого является технология «активной» ирригации, которая может быть реализована как с помощью нагнетания газа в ирригационную емкость воздушной помпой, так и посредством механического сдавливания ирригационного пакета. Это приводит к увеличению притока жидкости в переднюю камеру глаза, обеспечению более устойчивого баланса между ирригационным и аспирационным потоком и снижению кумулятивной рассеянной энергии ультразвука [25–28].

Разработка методов разрушения хрусталика на основе других физических принципов, лишенных недостатков ультразвука, является предметом исследований ряда зарубежных и отечественных авторов.

Одним из таких технических решений стала система «Staar Sonic Wave» для факоэмульсификации на основе колебаний в звуковом диапазоне от 40 до 400 Гц, разработанная компанией «Staar» [29]. Другим вариантом явилась технология NeoSonix (Alcon Inc.), с помощью которой удалось снизить дозу ультразвукового воздействия за счет использования дополнительных ротационных колебаний факоиглы в звуковом диапазоне с частотой 120 Гц. Заявляемые преимущества таких подходов заключаются в уменьшении общих затрат ультразвука, отсутствии или снижении нагрева тоннельного разреза роговицы [30]. Однако широкому распространению этих систем помешала низкая эффективность при эмульсификации плотной катаракты [31].

Альтернативным методом стала эндокапсулярная вихревая факоэмульсификация «Catarex», разработанная компанией «Optex Ophthalmologics Inc.» (материнская компания — «Atlantic Pharmaceuticals Inc.»), которая была предложена Ричардом Крацем в 1998 году. В основе технологии лежит применение рукоятки с прозрачным полым наконечником, в котором заключено роторное колесо специальной формы, при его вращении с частотой от 30 000 до 70 000 об/мин создается мощный аспирационный поток, притягивающий фрагменты хрусталика, при этом ротор обеспечивает измельчение и эвакуацию фрагментов хрусталика. Преимуществом

технологии является отсутствие значимого нагрева инструмента, быстрая фрагментация хрусталика, уменьшение количества движений факонаконечника, малый диаметр тоннельного разреза [32]. Однако в настоящее время в доступной литературе нет упоминаний о клиническом применении этой методики, неясна ее эффективность при удалении плотной катаракты.

Разрушение хрусталика при помощи струи сбалансированного солевого раствора является основой еще одной альтернативной методики — гидромониторной факоэмульсификации, впервые предложенной Н.Э. Темировым³. Суть этого подхода заключается в разрушении хрусталика порциями жидкости, подающимися струйно под высоким давлением и с большой частотой. В пользу безопасности данной технологии свидетельствует исследование, в котором проводилось сравнение влияния ультразвуковой и гидромониторной факоэмульсификации на величину потери эндотелиальных клеток и толщину сетчатки в макулярной области [33]. Позже данный подход был реализован в технологии AquaLase в факосистеме «Infiniti Vision System», разработанной компанией «Alcon Inc.» [31, 34].

Другой альтернативный подход был разработан отечественными учеными во главе с академиком С.Н. Федоровым и профессором В.Г. Копаевой. Основой его является использование ИАГ-лазера, обеспечивающего фрагментацию хрусталика. Наряду с отсутствием нагрева лазерное излучение с длиной волны 1,4–1,8 мкм имеет высокий коэффициент поглощения в средах с высоким содержанием воды и является безопасным для интраокулярных структур [35].

Разработка на основе ИАГ-лазера под названием SETUS компании «A.R.C. Laser», предложена зарубежными исследователями S. Modl, E. Ruf и G. Sauder. Система представляет собой полый стержень, внутри которого заключен лазерный излучатель. Луч лазера, попадая на титановую мишень, создает ударную волну, которая оказывает разрушающее воздействие на вещество хрусталика. Конструкция предусматривает присоединение к ирригационной и аспирационной системе факоэмульсификатора различных производителей. Преимуществом является отсутствие нагрева и низкое травмирующее действие на эндотелий. Однако разработчики отмечают высокий расход ирригационной жидкости и удлинение времени операции, что следует отнести к недостаткам этой технологии [35–36].

J. Yang и T. Xu разработали новый инструмент для факоэмульсификации катаракты, который разрушает вещество хрусталика благодаря преобразованию ультразвуковых колебаний в режущие колебания пластин наконечника. Инструмент представляет собой полую трубку, в которой заключен стержень. К стержню у рабочего конца полуподвижно прикреплен режущий наконечник в виде двух пластин специальной формы.

³ Темиров Н.Э. Гидромониторная офтальмохирургия: автореф. дис.... д-ра мед. наук. М., 1984.

Согласно проведенному авторами исследованию степень нагрева тоннельного разреза была значительно ниже по сравнению с использованием стандартного ультразвукового наконечника, при этом уровень производительности был сопоставим [37]. В настоящее время упоминаний о клиническом применении данной технологии в доступной литературе не встретилось.

Факоэмульсификация катаракты с использованием фемтосекундного лазера является наиболее современным технологическим решением с точки зрения качества выполнения роговичных разрезов, капсулорексиса и фрагментации хрусталика [38]. Следует отметить, что факоэмульсификация с применением фемтосекундного лазера не избавляет хирурга от необходимости применять ультразвук, хотя и может значительно снизить его дозу [39–41]. Кроме того, при применении фемтосекундного лазера хирург может столкнуться с рядом специфических осложнений, среди них потеря вакуума в процессе операции, миоз, вызванный быстрым высвобождением простагландинов, синдром капсулярного блока, возникающий в результате большого объема пузырьков газа, скопившихся на этапе фемтофрагментации [42, 43]. Кроме того, высокая стоимость оборудования и расходных материалов является существенным препятствием для широкого распространения и использования фемтосекундных лазерных технологий. Для снижения ультразвуковой нагрузки, а также с целью профилактики ряда проблем коллективом отечественных авторов были предложены модификации классической фемтолазерной факоэмульсификации. Данное направление развития методов лечения катаракты было обозначено авторами как гибридная факоэмульсификация [44, 45].

Заслуживает внимания система факоэмульсификации под названием «Catapult», разработанная компанией «Med-Logics», принцип работы которой основан на быстрых колебаниях вакуума в аспирационной линии [46]. Факофрагментация происходит благодаря соударениям фрагментов хрусталика с режущей кромкой рабочего инструмента, которые возникают в результате

резкого и быстрого движения аспирационных потоков вблизи факоиглы. Главным достоинством этой методики является отсутствие нагрева факонконечника, так как рабочий инструмент не содержит движущихся частей. Благодаря наличию постоянного отрицательного давления в аспирационной магистрали явлений отталкивания фрагментов хрусталика от факоиглы не наблюдается. Размер роговичного разреза при применении методики может составлять всего 1,4 мм. Эффективность и безопасность системы показаны в сравнительном исследовании систем для факоэмульсификации «Catapult Med-Logics» и «Infiniti Vision System Alcon Inc.» в сочетании с фемтолазерной факофрагментацией [47]. Однако публикаций об эффективности технологии без фемтолазерного сопровождения, а также при факоэмульсификации плотной катаракты в доступной литературе не встретилось.

Таким образом, в настоящее время одной из основных составляющих хирургии катаракты является баланс между эффективностью ультразвукового разрушения хрусталика и безопасностью этого процесса для внутриглазных структур. Большинство имеющихся технических решений, призванных заменить ультразвук, пока не позволяют осуществить это в полной мере, так как они обладают недостаточной разрушающей способностью или являются технологически сложными и дорогостоящими, что затрудняет их массовое внедрение в широкую практику. В связи с этим актуальным является поиск альтернативных энергетических подходов, направленных на повышение эффективности разрушения хрусталика без усиления негативных эффектов, связанных с увеличением дозы ультразвука.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Азнабаев Б.М. — концепция и дизайн исследования.
Дибаяев Т.И. — подготовка статьи и ее критической пересмотр в части значимого интеллектуального содержания.
Мухаммадеев Т.Р. — подготовка статьи и ее критической пересмотр в части значимого интеллектуального содержания.
Мухаметов Р.Г. — обзор литературных источников, написание статьи.
Идрисова Г.М. — написание статьи, научное редактирование.
Вафиев А.С. — написание статьи, научное редактирование.
Исмагилов Т.Н. — написание статьи, научное редактирование.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Brian G., Taylor H. Cataract blindness — challenges for the 21 century. *Bulletin of the World Health Organization*. 2001;79:249–256.
- Азнабаев Б.М. *Ультразвуковая хирургия катаракты — факоэмульсификация*. М.: «ИПК Парето-Принт»; 2016. 144 с. [Aznabaev B.M. *Ultrasound cataract surgery — phacoemulsification*. Moscow: «IPK Pareto-Print»; 2016. 144 p. (In Russ.)].
- Федеральные клинические рекомендации по оказанию офтальмологической помощи пациентам с возрастной катарактой. Экспертный совет по проблемам хирургического лечения катаракты. М.: *Офтальмология*, 2015. 32 с. [Federal clinical guidelines for the provision of ophthalmic care to patients with age-related cataracts. Expert advice on the problems of surgical treatment of cataracts. Moscow: *Oftalmologiya*, 2015. 32 p. (In Russ.)].
- Buratto L., Werner L., Zanini M., Apple D. *Phacoemulsification: Principles and Techniques*. Second Edition. NY: SLACK Inc, 2003. 768 p.
- Анисимова С.Ю., Трубилин В.Н., Трубилин А.В., Анисимов С.И. Сравнение механического и фемтосекундного капсулорексиса при факоэмульсификации катаракты. *Катарактальная и рефракционная хирургия*. 2012;12(4):16–18. [Anisimova S.Yu., Trubilin V.N., Trubilin A.V., Anisimov S.I. Comparison of mechanical and femtosecond capsulorhexis in cataract phacoemulsification. *Cataract and refractive surgery = Kataraktalnaya i refraktsionnaya khirurgiya*. 2012;12(4):16–18 (In Russ.)].
- Явишева Т.М., Ягубов А.С., Ногинов А.А. Некоторые закономерности организации эндотелиального пласта роговицы в норме и патологии. *Архив патологии*. 1994;56(3):72–76. [Yavisheva T.M., Yagubov A.S., Noginov A.A. Some regularities of the organization of the corneal endothelial layer in health and disease. *Archive of Pathology = Arkhiv patologii*. 1994;56(3):72–76 (In Russ.)].
- Werblin T.P. Long-Term endothelial cell loss following phacoemulsification: model for evaluating endothelial damage after intraocular surgery *Refract. Corneal Surg*. 1993;9:29–35.
- Olson L.E., Marshall J., Rice N.S., Andrews R. Effect of ultrasound on the corneal endothelium: I The Acute Lesion *Br. Ophthalmol*. 1978;62:134–144. DOI: 10.1136/bjo.62.3.134
- Sorensen T., Chan C.C., Bradley M., Braga-Mele R., Olson R.J. Ultrasound-induced corneal incision contracture survey in the United States and Canada. *J. Cataract Refract. Surg*. 2012;38:227–233. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.08.039
- Miyata K., Maruoka S., Nakahara M. Corneal endothelial cell protection during phacoemulsification: low- versus highmolecular weight sodium hyaluronate. *J. Cataract Refract. Surg*. 2002;28:1557–1560. DOI: 10.1016/s0886-3350(02)01540-7
- Nayak B., Shukla R. Effect on corneal endothelial cell loss during phacoemulsification: fortified balanced salt solution versus ringer lactate. *J. Cataract Refract. Surg*. 2012;38:1552–1558. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.04.036

11. Aust S.D, Hebdon T., Humbert J., Dimalanta R. Hydroxyl free radical production during torsional phacoemulsification. *J. Cataract Refract. Surg.* 2010;36:2146–2149. DOI: org/10.1016/j.jcrs.2010.06.063
12. Kaushik S., Ram J., Brar G.S., Bandyopadhyay S. Comparison of the thermal effect on clear corneal incision during phacoemulsification with different generation machines. *Ophthalmic Surg. Lasers Imaging.* 2004;35:364–370. DOI: 10.3928/1542-8877-20040901-04
13. Азнабаев Б.М., Мухамедеев Т.Р., Бикчураев Д.Р., Дибаяев Т.И. Температура зоны тоннельного разреза при коаксиальной факэмульсификации. *Вестник Оренбургского государственного университета.* 2009;12:6–8. [Aznabaev B.M., Mukhamadeev T.R., Bikchuraev D.R., Dibaev T.I. Temperature of the zone of the tunnel incision during coaxial phacoemulsification. *Annals of Orenburg State University = Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2009;12:6–8 (In Russ.).]
14. Азнабаев Б.М., Мухамедеев Т.Р., Дибаяев Т.И. Ультразвуковая факэмульсификация на основе непродольных колебаний. *Медицинский вестник Башкортостана.* 2012;7(6):103–107. [Aznabaev B.M., Mukhamadeev T.R., Dibaev T.I. Ultrasonic phacoemulsification based on non-longitudinal vibrations. *Bashkortostan Medical Journal = Meditsinskiy vestnik Bashkortostana.* 2012;7(6):103–107 (In Russ.).]
15. Christakis P.G., Braga-Mele R.M. Intraoperative performance and postoperative outcome of longitudinal, torsional and transversal phacoemulsification machines. *J. Cataract Refract. Surg.* 2012;38:234–241. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.08.035
16. Assil K., Christian W., Harris L. Randomized comparison of a Transversal Ultrasound vs. a Torsional Handpiece in Phacoemulsification: A Contralaterally-Controlled Trial. *Investigative Ophthalmology & Visual Science.* 2012;53:6635.
17. Assil K., Harris L., Cecka J. Transverse vs torsional ultrasound: prospective randomized contralaterally controlled study comparing two phacoemulsification-system handpieces. *Clinical Ophthalmology.* 2015;9:1405–1411. DOI: 10.2147/OPHTH.S86660
18. Азнабаев Б.М., Мухамедеев Т.Р., Дибаяев Т.И., Алимбекова З.Ф., Пизатулина М.А., Саттарова Р.Р. Клинические результаты ультразвуковой факэмульсификации на основе трехмерных колебаний. *Современные технологии в офтальмологии.* 2015;4:11–14. [Aznabaev B.M., Mukhamadeev T.R., Dibaev T.I., Alimbekova Z.F., Gizatullina M.A., Sattarova R.R. Clinical results of ultrasonic phacoemulsification based on three-dimensional vibrations. *Modern technologies in ophthalmology = Sovremennye tekhnologii v oftalmologii.* 2015;4:11–14 (In Russ.).]
19. Азнабаев Б.М., Мухамедеев Т.Р., Дибаяев Т.И., Янбухтина З.Р., Рахимов А.Ф., Идрисова Г.М. Способ аспирации кортикальных масс и устройство для его осуществления. Патент на изобретение RU 2679305, 06.02.2019. [Aznabaev B.M., Mukhamadeev T.R., Dibaev T.I., Yanbukhtina Z.R., Rakhimov A.F., Idrisova G.M. Method of aspiration of cortical masses and device for its implementation. RU 2679305, 06.02.2019 (In Russ.).]
20. Shepherd J.R. In situ fracture. *J. Cataract Refract Surg.* 1990;16:436–440. DOI: 10.1016/s0886-3350(13)80796-1
21. Park J., Yum H.R., Kim M.S., Harrison A.R., Kim E.C. Comparison of phaco-chop, divide-and-conquer, and stop-and-chop phaco techniques in microincision coaxial cataract surgery. *J. Cataract Refract. Surg.* 2013;39:1463–1469. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.04.033
22. Gimbell H.V. Divide and conquer nucleofractis phacoemulsification: development and variations. *J. Cataract Refract. Surg.* 1991;17:281–291. DOI: 10.1016/s0886-3350(13)80824-3
23. Lanchilev T., Chang D.F., Koo E., MacDonald S. Microinterventional endocapsular nucleus disassembly for phacoemulsification-free full-thickness fragmentation. *Journal of Cataract Refract. Surg.* 2012;44:932–934. DOI: 10.1016/j.jcrs.2018.05.017
24. Chen M.E., Anderson E., Hill G., Chen J.J., Patrianakos T. Comparison of cumulative dissipated energy between the Infiniti and Centurion phacoemulsification systems. *Clinical Ophthalmology.* 2015;9:1367–1372. DOI: 10.2147/OPHTH.S88225
25. Fanney D., Cionni R.J., Solomon K.D. Clinical study using a new phacoemulsification system with surgical intraocular pressure control. *J. Cataract Refract Surg.* 2016;42:542–549. DOI: 10.1016/j.jcrs.2016.01.037
26. Jensen J.D., Boulter T., Lambert N.G., Zaugg B., Stagg B.C., Petney G.H., Olson R.G. Intraocular pressure study using monitored forced-infusion system phacoemulsification technology. *J. Cataract Refract. Surg.* 2016;42(5):768–771. DOI: 10.1016/j.jcrs.2016.01.045
27. Lin J. Apparatus, system, and method of gas infusion to allow for pressure control of irrigation in a surgical system. U.S. patent 2018/0228962 A1.
28. Hoffman R.S., Fine H., Packer M., Brown L.K. Comparison of sonic ad ultrasonic phacoemulsification using the Staar Sonic Wave system. *J. Cataract Refract. Surg.* 2002;28:1581–1584. DOI: 10.1016/s0886-3350(01)01324-4
29. Davison J.A. Ultrasonic power reduction during phacoemulsification using adjunctive NeoSonix technology. *J. Cataract Refract. Surg.* 2005;31:1015–1019. DOI: 10.1016/j.jcrs.2004.09.025
30. Jirásková N., Kadlecová J., Rozsival P., Nekolová J., Pozlerova J., Dúbravská Z. Comparison of the effect of AquaLase and NeoSonix phacoemulsification on the corneal endothelium. *J. Cataract Refract. Surg.* 2008;34(3):377–382. DOI: 10.1016/j.jcrs.2007.10.033
31. Kratz R., Cavanaugh T. Cataract removal procedure may be potential phaco alternative in future / R. Kratz, T. Cavanaugh. *Ocular Surgery News Europe/Asia-Pacific Edition (Archive)*, January 1999. URL: <https://www.healio.com/ophthalmology/news/print/ocular-surgery-news-europe-asia-edition/%7B7B55a113-e4ae-4f8a-a4dc-d21497dd7832%7D/cataract-removal-procedure-may-be-potential-phaco-alternative-in-future> (дата обращения: 27.11.2019).
32. Темиров Н.Э., Вакарев П.Б. Сравнительная оценка влияния гидромониторной и ультразвуковой факэмульсификации на послеоперационное состояние роговицы и макулярных отделов сетчатки. *Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии* — 2012: сб. науч. работ. М., 2012. С. 147–151. [Temirov N.E., Vakarev P.B. Comparative assessment of the effect of water jet and ultrasonic phacoemulsification on the postoperative state of the cornea and macular parts of the retina — 2012: Coll. scient. invest. 2012:147–151 (In Russ.).] <http://www.eyepress.ru/0001398/Cat2012.pdf>
33. Азнабаев М.Т., Хисматуллин Р.Р. Сравнительная оценка влияния гидромониторной и ультразвуковой факэмульсификации катаракт на эндотелиальный слой роговицы. *Медицинский вестник Башкортостана.* 2011;6:20–22. [Aznabaev M.T., Khismatullin R.R. Comparative assessment of the effect of water jet and ultrasonic phacoemulsification of cataracts on the endothelial layer of the cornea. *Bashkortostan Medical Journal = Meditsinskiy vestnik Bashkortostana.* 2011;6:20–22 (In Russ.).]
34. Копаяев С.Ю., Борзенко С.А., Копаяев В.Г., Алборова В.У. Состояние заднего эпителии роговицы после лазерной и ультразвуковой факофрагментации. Электронно-микроскопическое исследование в эксперименте. Сообщение 3. *Офтальмохирургия.* 2015;2:6–9. [Копаяев С.Ю., Борзенко С.А., Копаяев В.Г., Алборова В.У. The state of the posterior corneal epithelium after laser and ultrasonic phacoemulsification. Electron microscopic study in experiment. Message 3. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery = Oftalmokhirurgiya.* 2015;2:6–9 (In Russ.).]
35. Modl S., Ruf E., Sauder G. Nano-laser photofragmentation. *J. Cutting Edge of Ophthalmic Surgery.* 2017; 89–91. DOI: 10.1007/978-3-319-47226-3_8
36. Yang J., Xu T. A novel phacoemulsification needle with scissor-like motion end effector for reducing heat generation at cornea incision. *Sensors and Actuators A: Physical.* 2019;288:92–100. DOI: 10.1016/j.sna.2019.01.021
37. Анисимова С.Ю., Анисимов С.И., Трубилин В.Н., Новак И.В. Факэмульсификация катаракты с фемтолазерным сопровождением. Первый отечественный опыт. *Катарактальная и рефракционная хирургия.* 2012;12(3):7–10. [Anisimova S.Yu., Anisimov S.I., Trubilin V.N., Novak I.V. Phacoemulsification of cataract with femtolasers support. The first domestic experience. *Cataract and refractive surgery = Kataraktal'naya i refraktsionnaya khirurgiya.* 2012;12(3):7–10 (In Russ.).]
38. Abell R.G., Kerr N.M., Vote B.J. Femtosecond laser-assisted cataract surgery compared with conventional cataract surgery. *Clin. Experiment. Ophthalmol.* 2013;41:455–462. DOI: 10.1111/ceo.12025/
39. Костенев С.В. Фемтосекундная лазерная офтальмохирургия — вектор развития — катарактальная хирургия. *Вестник новых медицинских технологий.* 2012;12(3):112–114. [Kostenev S.V. Femtosecond laser ophthalmology — development vector — cataract surgery. *Journal of new medical technologies = Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii.* 2012;12(3):112–114 (In Russ.).]
40. Donnenfeld E.D. Techniques to improve phaco after laser cataract surgery. *J. Cataract Refract. Surg. Today.* 2013;3:57–59.
41. Nagy Z.Z., Takacs A.L., Filkorn T., Kránitz K., Gyenes A., Juhász É., Sándor G.L., Kovacs I., Juhász T., Slade S. Complications of femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J. Cataract Refract. Surg.* 2014;40:20–28. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.08.046
42. Lubahn J.G., Kankariya V.P., Yoo S.H. Grid pattern delivered to the cornea during femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J. Cataract Refract. Surg.* 2014;40:496–497. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.12.001
43. Аветисов С.Э., Мамикоян В.Р., Юсеф Ю.Н., Иванов М.Н., Аветисов К.С. Гибридная факэмульсификация: новый этап в совершенствовании хирургии катаракты. *Вестник офтальмологии.* 2014;2:4–7. [Avetisov S.E., Mamikonyan V.R., Yusef Yu.N., Ivanov M.N., Avetisov K.S. Hybrid phacoemulsification: a new stage in the improvement of cataract surgery. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftalmologii.* 2014;2:4–7 (In Russ.).]
44. Юсеф С.Н. Модифицированная технология гибридной факэмульсификации. *Вестник офтальмологии.* 2015;3:56–60. [Yusef S.N. Modified hybrid phacoemulsification technology. *Annals of Ophthalmology = Vestnik oftalmologii.* 2015;3:56–60 (In Russ.).] DOI: 10.17116/oftalma2015131356-60
45. Med-logics, Inc. URL: <http://www.mlogics.com/cataract/catapult> (дата обращения: 03.07.2017).
46. Mendez A. Comparison of Effective Phacoemulsification and Pulsed Vacuum Time for Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery // ASCRS Cornea Congress. San Diego, 2015. URL: <https://ascrs.confex.com/ascrs/15am/webprogram/Paper18055.html> (дата обращения: 30.06.2018).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБОУ «Башкирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации»
 ЗАО «Оптимедсервис»
 Азнабаев Булат Маратович
 доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой; генеральный директор
 ул. Ленина, 3, Уфа, 450008, Российская Федерация
 ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0003-1796-8248>

ФГБОУ «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
 ЗАО «Оптимедсервис»
 Дибаяев Тагир Ильдарович
 кандидат медицинских наук, доцент кафедры; офтальмолог
 ул. Ленина, 3, Уфа, 450008, Российская Федерация
 ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0002-7448-6037>

ФГБОУ «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
 ЗАО «Оптимедсервис»
 Мухаматов Руслан Геннадьевич
 заочный аспирант кафедры; офтальмолог
 ул. Ленина, 3, Уфа, 450008, Российская Федерация
 ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0001-5043-0429>

ФГБОУ «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
 ЗАО «Оптимедсервис»
 Мухамадеев Тимур Рафаэльевич
 доктор медицинских наук, профессор кафедры; офтальмолог
 ул. Ленина, 3, Уфа, 450008, Российская Федерация
 ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация

ФГБОУ «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
 ЗАО «Оптимедсервис»
 Идрисова Гульназ Маратовна
 ассистент кафедры; офтальмолог
 ул. Ленина, 3, Уфа, 450008, Российская Федерация
 ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0003-4849-7354>

ФГБОУ «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
 ЗАО «Оптимедсервис»
 Вафиев Александр Сергеевич
 старший лаборант кафедры; офтальмолог
 ул. Ленина, 3, Уфа, 450008, Российская Федерация
 ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0002-0541-3248>

ФГБОУ «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
 ЗАО «Оптимедсервис»
 Исмагилов Тимур Наилевич
 клинический ординатор кафедры; офтальмолог
 ул. Ленина, 3, Уфа, 450008, Российская Федерация
 ул. 50 лет СССР, 8, Уфа, 450059, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0003-4132-4979>

ABOUT THE AUTHORS

Bashkir State Medical University
 "Optimedservis", CJSC
 Aznabaev Bulat M.
 MD, Professor, head of Department
 Lenina str., 3, Ufa, 450008, Russian Federation
 50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-1796-8248>

Bashkir State Medical University
 "Optimedservis", CJSC
 Dibaev Tagir I.
 MD, Assistant Professor, ophthalmologist
 Lenina str., 3, Ufa, 450008, Russian Federation
 50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-7448-6037>

Bashkir State Medical University
 "Optimedservis", CJSC
 Mukhametov Ruslan G.
 postgraduate, ophthalmologist
 Lenina str., 3, Ufa, 450008, Russian Federation
 50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0001-5043-0429>

Bashkir State Medical University
 "Optimedservis", CJSC
 Mukhamadeev Timur R.
 MD, Professor of the Chair of Ophthalmology, ophthalmologist
 Lenina str., 3, Ufa, 450008, Russian Federation
 50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russian Federation

Bashkir State Medical University
 "Optimedservis", CJSC
 Vafiev Alexander S.
 senior laboratory assistant, ophthalmologist
 Lenina str., 3, Ufa, 450008, Russian Federation
 50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-4849-7354>

Bashkir State Medical University
 "Optimedservis", CJSC
 Idrisova Gulnaz M.
 assistant, ophthalmologist
 Lenina str., 3, Ufa, 450008, Russian Federation
 50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-0541-3248>

Bashkir State Medical University
 "Optimedservis", CJSC
 Ismagilov Timur N.
 clinical resident, ophthalmologist
 Lenina str., 3, Ufa, 450008, Russian Federation
 50 let SSSR str., 8, Ufa, 450059, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-4132-4979>